

# Statistische Physik

Hausübung, Blatt 8

WiSe 2018/19

Abgabe: 13.12.2018

---

## [H14] Wärmepumpe

(4 Punkte)

Eine Wärmepumpe kann ein Gebäude heizen, indem sie einer externen Quelle (etwa der Außenluft) Wärme entzieht. Dadurch kann eine Wärmepumpe effizienter arbeiten als herkömmliche Heizungen. Sei  $\tau_i$  die Temperatur innerhalb eines geheizten Gebäudes, und sei  $\tau_o$  die Temperatur des Reservoirs (der Wärmequelle), welchem die Pumpe Wärme entzieht.

- Nehmen Sie an, die Temperatur der Wärmequelle sei kleiner als die Temperatur im Gebäude, also  $\tau_o < \tau_i$ . Wie groß ist die Arbeit, welche die Pumpe je im Gebäude abgegebener Wärmeeinheit mindestens leisten muss, als Funktion von  $\tau_i$  und  $\tau_o$ ?
- Nehmen Sie an, die Elektrizität für eine optimale Wärmepumpe werde durch eine Carnot-Maschine erzeugt, welche zwischen den Temperaturen  $\tau_o$  und  $\tau_h > \tau_o$  arbeitet. Wie groß ist das Verhältnis  $Q_h/Q_i$  zwischen der bei Temperatur  $\tau_h$  entzogenen Wärmemenge  $Q_h$  im Elektrizitätswerk und der bei  $\tau_i$  abgegebenen Wärmemenge  $Q_i$  im geheizten Gebäude? Vernachlässigen Sie Übertragungsverluste. Berechnen Sie das Verhältnis für den Fall  $\tau_h/k_B = 600$  K,  $\tau_i/k_B = 300$  K und  $\tau_o/k_B = 270$  K.

## [H15] Klimaanlage

(4 Punkte)

Eine (idealisierte) Klimaanlage realisiert einen Carnot-Zyklus zwischen einer Außentemperatur  $\tau_o$  (Wärmeabgabeseite) und einer Zimmertemperatur  $\tau_i < \tau_o$  (Wärmeaufnahmeseite). Da das Zimmer nicht perfekt isoliert ist, nimmt es mit einer konstanten Rate  $A(\tau_o - \tau_i)$  Wärme von außen auf. Bestimmen Sie die Gleichgewichtstemperatur  $\tau_i$  im Zimmer als Funktion der Außentemperatur  $\tau_o$  und der Leistung  $P$  der Klimaanlage.

## [H16] Entropieabnahme der Erde

(4 Punkte)

- In [P19] haben wir den Energiefluss der von der Sonne auf die Erde treffenden Strahlung berechnet. Die Erde emittiert denselben Energiefluss als thermische Strahlung. Bestimmen Sie die minimale Rate, mit welcher die Entropie der Erde durch diesen Prozess zunehmen kann, als Funktion der Oberflächentemperatur  $\tau_E$  der Erde, der Oberflächentemperatur  $\tau_S$  der Sonne, und der von der Sonne empfangenen Leistung  $P$ . Die minimale Rate ist negativ, die Erde kann ihre Entropie in diesem Prozess also verringern. Diese Tatsache macht Selbstorganisation und Leben auf der Erde möglich.
- In der Informationstheorie ist die Entropie ein Maß für den Mangel an bekannter Information über ein System. In diesem Zusammenhang ist die Entropie üblicherweise durch den Logarithmus zur Basis 2 der Anzahl zugänglicher Zustände definiert, und nicht durch den Logarithmus Naturalis. Berechnen Sie die Rate, mit welcher durch den Prozess in (a) Information über die Erde gewonnen werden kann. Schreiben Sie die Rate in Tb/s (Terabits pro Sekunde, 1 Tb =  $10^{12}$  bits). Nehmen Sie an, dass die von der Sonne empfangene Leistung  $P \simeq 1.82 \cdot 10^{17}$  W beträgt.